

3 台の小型水平軸風車を用いた風車性能改善に関する比較研究

Studies on performance improvement of three kinds of small horizontal axis wind turbines with the same design map (a repeat in progress)

清水幸丸*・岡村聖*・山村直紀**・宇都宮 真輔***

SHIMIZU Yukimaru*, OKAMURA Kiyoshi*, YAMAMURA Naoki** and Utsunomiya Shinsuke***

*名古屋産業大学大学院環境マネジメント研究科 **三重大学大学院工学研究科 ***株式会社 コスモウィンズ

Abstract: The same design map is applied to three small horizontal axis wind turbine, A, B, and C, which have the same diameter 3.54m, three blades, and two stage shafts (gear ratio 1.47). The maximum outputs of each turbine A, B, and C are about 4kw, 4.5kw and 3kw. The setting place of B and C is the same and that of A is another place. The output data of each turbines A, B and C are different. The results are investigated in the paper.

Keywords: Small horizontal axis wind turbine, the same design map, another place, grid connection to commercial net work system

1. はじめに

3 台のダブルピッチ制御機構付小型水平軸風車 A, B, C を用いて各種性能試験を行った。A 風車は、3 年間の運転実績があるが、さらに出力アップを図るため過去の一段軸を二段軸風車に改造した。風車翼車の回転数範囲は、従前と同一にし、増速ギヤ（タイミングベルト方式）によって、発電機回転数のみを 1.47 倍（約 1.5 倍）にした。その結果公称 3kW 出力の風車出力が約 5kW まで上昇することになった。4.5kW まで出力を上昇させると発電機の熱発生により焼損事故の危険性があるが、4 年前の設計時に将来のことを考えて発電機コイルを太くしておき、5kW 程度出力アップでも、一応焼損事故が起きないように対応してある。当初スタート時一段軸にした理由は、微風速 2m/s 程度で風車が起動する（まわり始める）と風車の印象がよくなり、発電量も伸びると期待して製作した。しかし、売電を考え、商用電源への系統接続を行うとすると低風速 2m/s～3m/s 程度で発電した電力は、電圧不足で系統連系に必要なパワーコンディショナが起動せず、系統連系のためには、最低 4m/s 程度の風速が必要ことが判明した。年間の売電電力量を伸ばすためには、微風速領域の改善はやめて、いかに高風速領域の風を沢山とらえるか、すなわち、今まで風車ブレードのフェザリングによって逃していた風エネルギーを上手にとらえて行くことに注力した方がよいことが判った。著者等は過去に 2 段軸風車を制作した経験があるので、その経験を基にまず A 風車を 2 段軸風車に設計改造し、B 風車、C 風車も改造後の成果に基づいて製作した。A, B, C 3 台の風車の性能試験は現在進行中であるが、3 月は、年度末なので、中間報告として、名産大環境経営研究所に投稿した。3. 2 節には、5 kW B 風車を中部電力へ系統連系した 2018 年 8 月から 2019 年 2 月まで連続発電の結果を示す。

2. 実験風車の概略および実験方法

図 1 には、小型風車系統連系の説明図を示す。小型風車で発電された電力は、コントロールボックス（制御箱）を経て、パワーコンディショナで交直変換を行い、商用系統電路（中部電力の電線単相 200V）へ連系接続される。電力量計、現在はスマートメーターで電力量は計測され、売電金額が決まる。



写真 1 改造小型水平風車実験装置実景
A 風車（木造風車）



写真 2 B 風車および C 風車 B（美浜 1 号）、C（美浜 2 号）

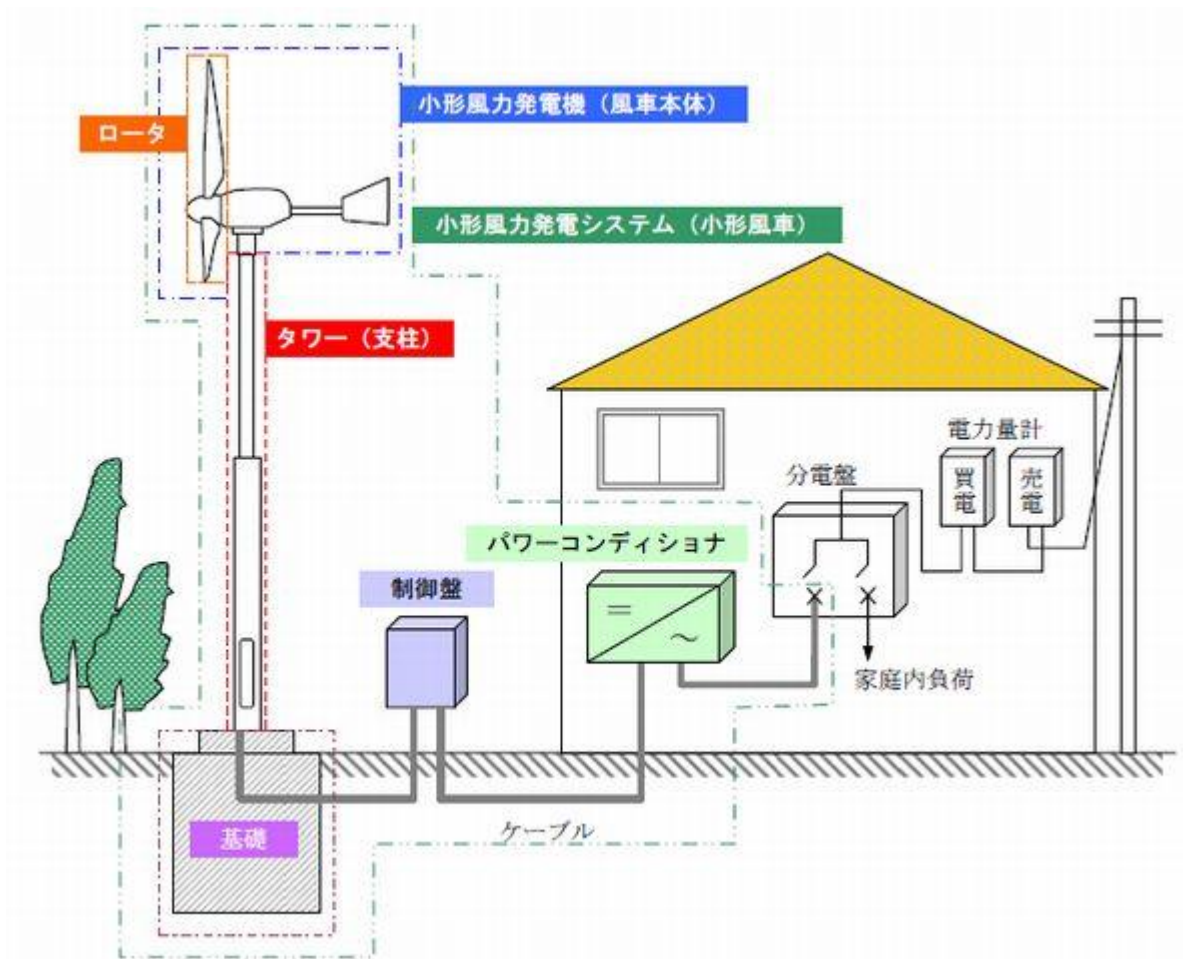


図1 小型風車の系統連系説明図（小型風車－パワーコンディショナー系統連系－メーター電柱）
出典：日本小型風力発電協会 (<https://www.jswta.jp/>)

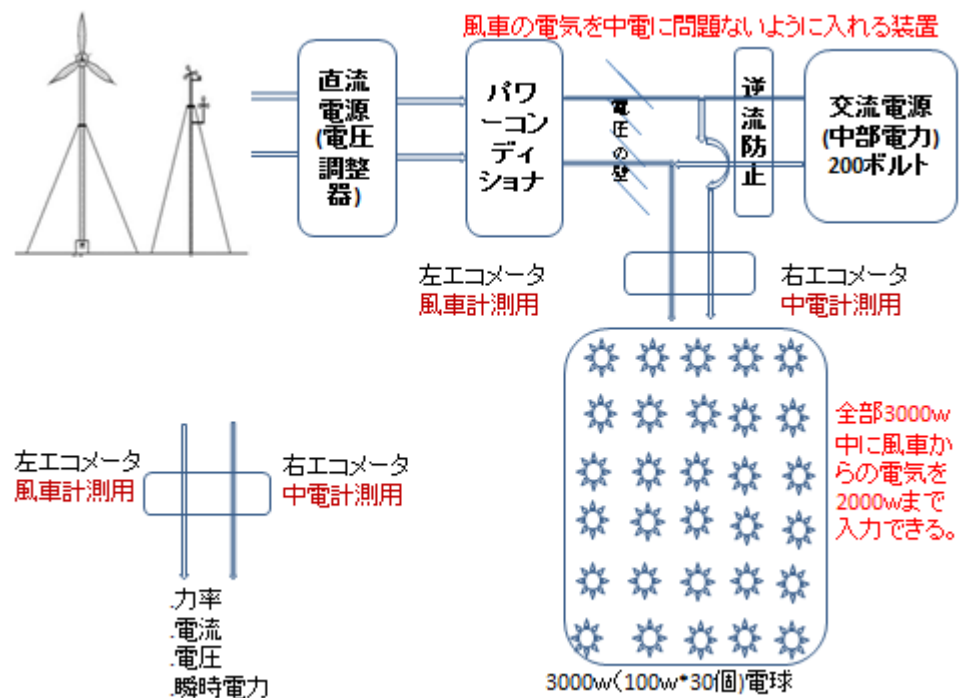


図2 実験用風車から電球負荷(3000w)までの電気の流れ図

現在 A 風車以外は、すなわち、B 風車、C 風車は新設まもなく、まだ中部電力の系統連系許可がおりていないので、系統連系はされておらず、図 3 に示す方法で、発電した電力は、直流に変換した後、パワーコンディショナに接続されず、写真 3 に示す電熱器負荷に接続され、消費している。A 風車は、中部電力への系統連系の許可がおりているが、B 風車、C 風車との比較をしやすいするため、図 2 に示す方法を用いて、系統連系を行った。負荷は電球 100W を 30 個用いて行った。

写真 1 には、A 風車（津・木造風車）を示す。

写真 2 には、B 風車（美浜 1 号）および C 風車（美浜 2 号）を示す。風車の設置場所は、A 風車（三重県津市木造町）水田地帯、B 風車および C 風車は愛知県美浜町、知多半島南部の丘陵地帯の海岸線に近い地帯である。

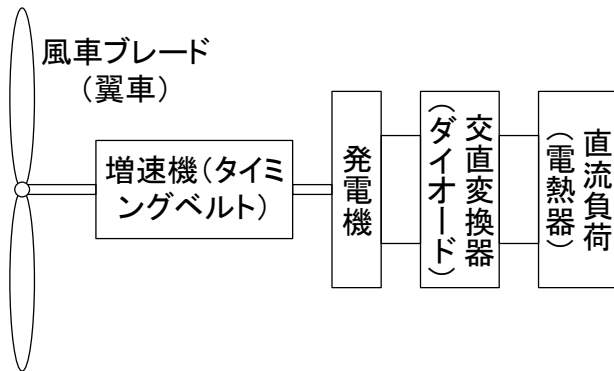


図 3 B 機および C 機の発電機と直流負荷の関係



写真 3 B 風車および C 風車の電熱器負荷写真

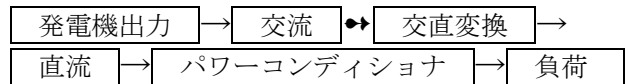
3. 実験結果の考察

3.1. 風車立ち上げ時の実験結果の考察

図 4 から図 9 までには、A 機、B 機、C 機の風車出力データを示す。データは、発電電流 (A)、発電電圧 (V)、発電電力 (W)、風車回転数 (rpm)、および出力係数 C_p の測定値である。A 機と B、C 機では、回路上で多少測定場所が異なる。

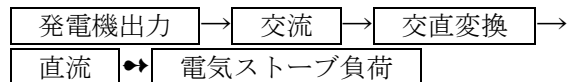
A 機は、発電機出力は、全て交流段階で計測され

ている。



の流れの中で、交流段階で計測されている。また、回転数は発電機回転数が直接計測されている。翼車回転数は $1/1.47$ になる。

B 機、C 機は、発電機出力は、全て、直流段階で計測されている。



回転数は翼車回転数が計測されている。発電機回転数は 1.47 倍になる。

A 機、図 4、図 5 に示す。考察しやすいので図 5 の 10 分間平均値を用いることにする。測定は 2016 年 11 月 23 日 15:00 から 15:50 まで 50 分間の値である。その間の平均風速は $4.7(\text{m/min})$ である。平均出力係数 C_p は 0.35 で極めて順調である。平均発電機回転数は $220(\text{rpm})$ 、平均出力電力は $187.4(\text{W})$ になる。

B 機、図 6、図 7 に示す。図 7 の 10 分間平均値を用いることにする。測定は、2017 年 3 月 16 日 17 時 52 分から 19 時 53 分まで 2 時間の値である。その間の平均風速は、 $5.7(\text{m/min})$ である。平均出力係数 C_p は 0.41 で順調である。翼車回転数は $147.8(\text{rpm})$ 、発電機回転数は 1.47 倍して、 $218(\text{rpm})$ になる。電力は 455W になる。

C 機、図 8、図 9 に示す。図 9 の 10 分間平均値を用いることにする。測定は、2017 年 3 月 24 日 13 時 56 分から 15 時 56 分まで 2 時間の値である。その間の平均風速は、 $5.9(\text{m/min})$ である。平均出力係数 C_p は 0.22 になる。翼車回転数は $119.7(\text{rpm})$ 、発電機回転数は $167(\text{rpm})$ になる。電力は 259.4W になる。

A、B、C の 3 機の小型水平軸風車を無事比較運転出来て満足している。比較に用いた採用風速は、1 分間平均風速は $5\text{m/min} \sim 8\text{m/min}$ の範囲である。この程度の風速は、風車実験者にとって極楽風速である。のんびり対応できる。低風速の上から中風速の中の範囲に相当する。これより低い風速では、発電量が伸びずいららする。 $12\text{m/min} \sim 15\text{m/min}$ の高風速になると、風車の回転が速く緊張する。実験をしていて疲れを感じる。

この極楽風速で B 風車は出力係数 $C_p=0.41$ になり、満足のいく値である。A 風車も平均 4.7m/min で $C_p=0.35$ になり満足できる。C 風車は平均 5.9m/min で $C_p=0.22$ は不満足である。何が原因か今後検討課題である。

B、C 両風車は立ち上げてからまだ 2~3 週間なのでこれからが楽しみである。強風での運転状況チェック、低風速での出力の状況等長時間連続データが必要になってくる。

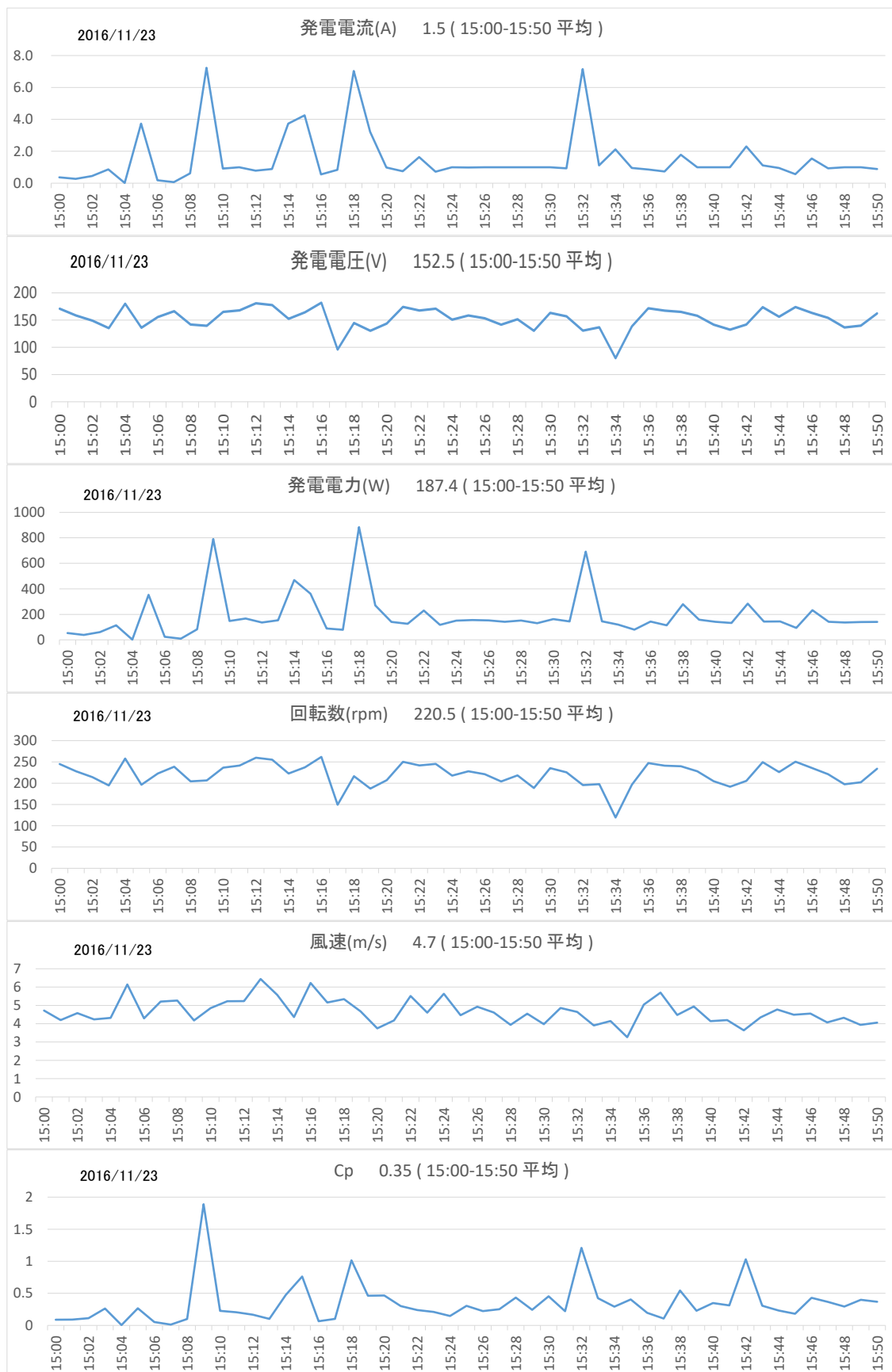


図 4 A 機 (津木造風車)、2016 年 11 月 23 日の実験結果、1 分間平均値
 発電電流 (A), 発電電圧 (V), 発電電力 (W), 回転数 (rpm), 風速 (m/min), 出力係数 Cp

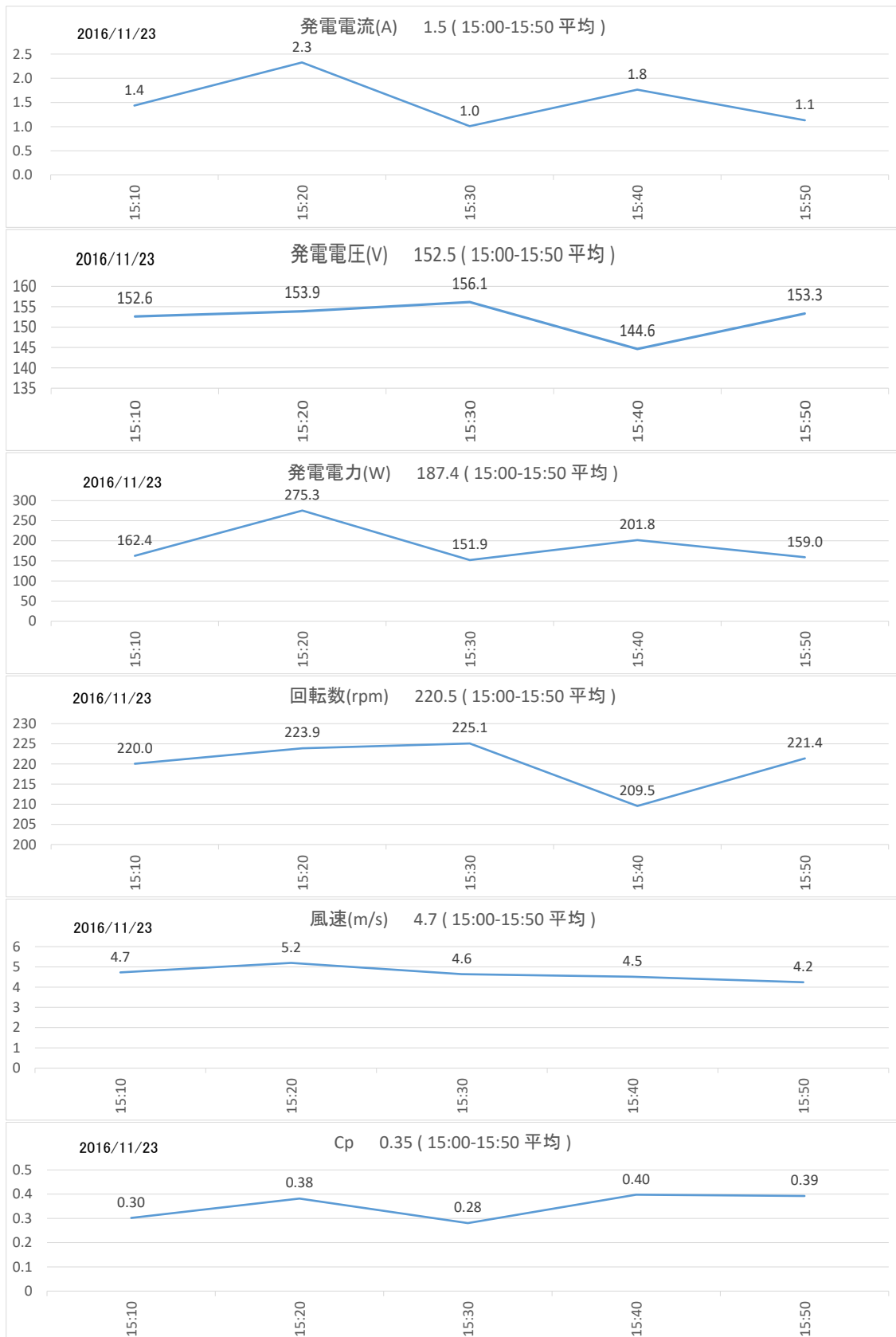


図5 A機（津木造風車）、2016年11月23日の実験結果、10分間平均値
 発電電流 (A), 発電電圧 (V), 発電電力 (W), 回転数 (rpm), 風速 (m/min), 出力係数 Cp

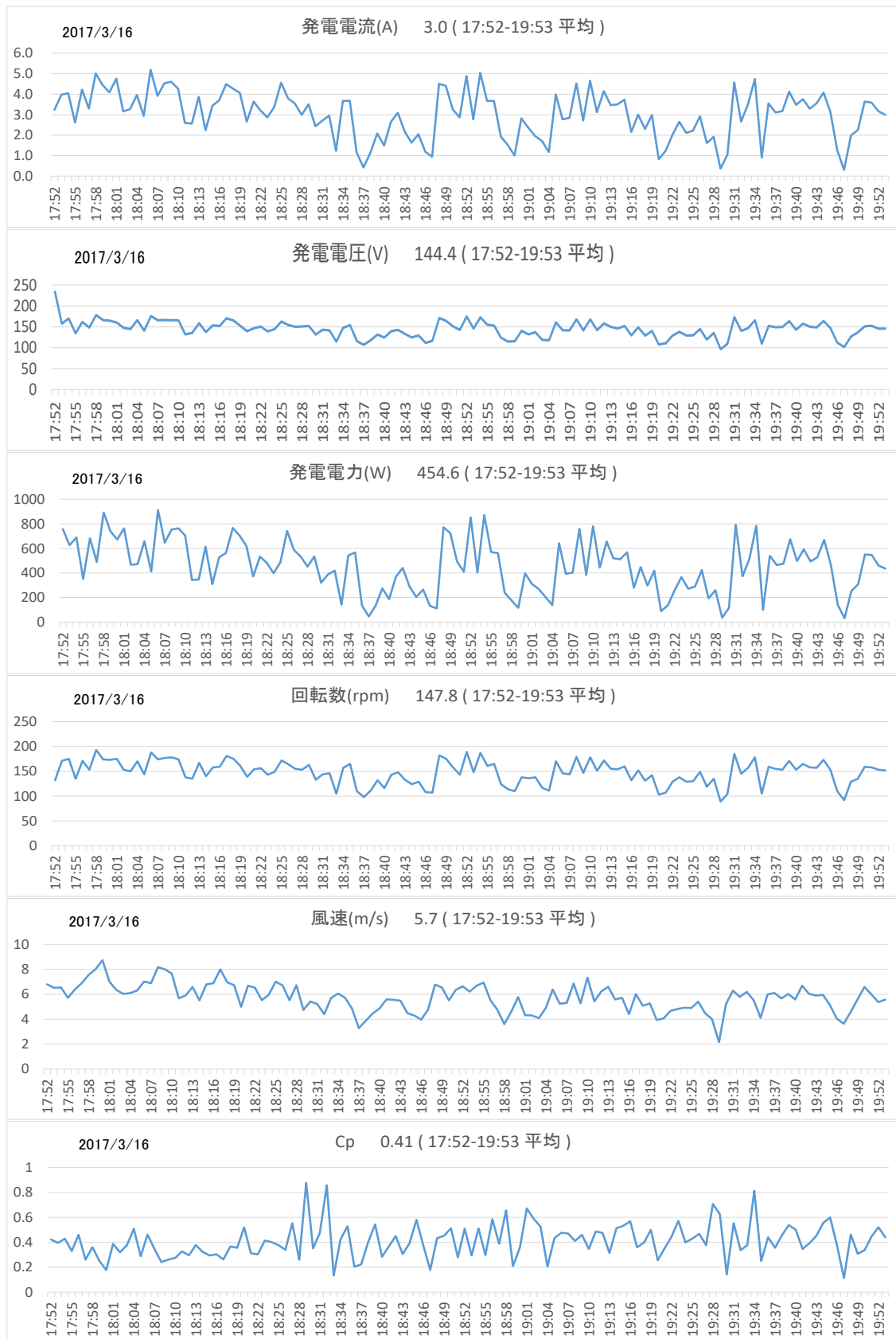


図 6 B 機 (5kW 機)、2017 年 3 月 16 日の実験結果、1 分間平均値
 発電電流 (A), 発電電圧 (V), 発電電力 (W), 回転数 (rpm), 風速 (m/min), 出力係数 Cp

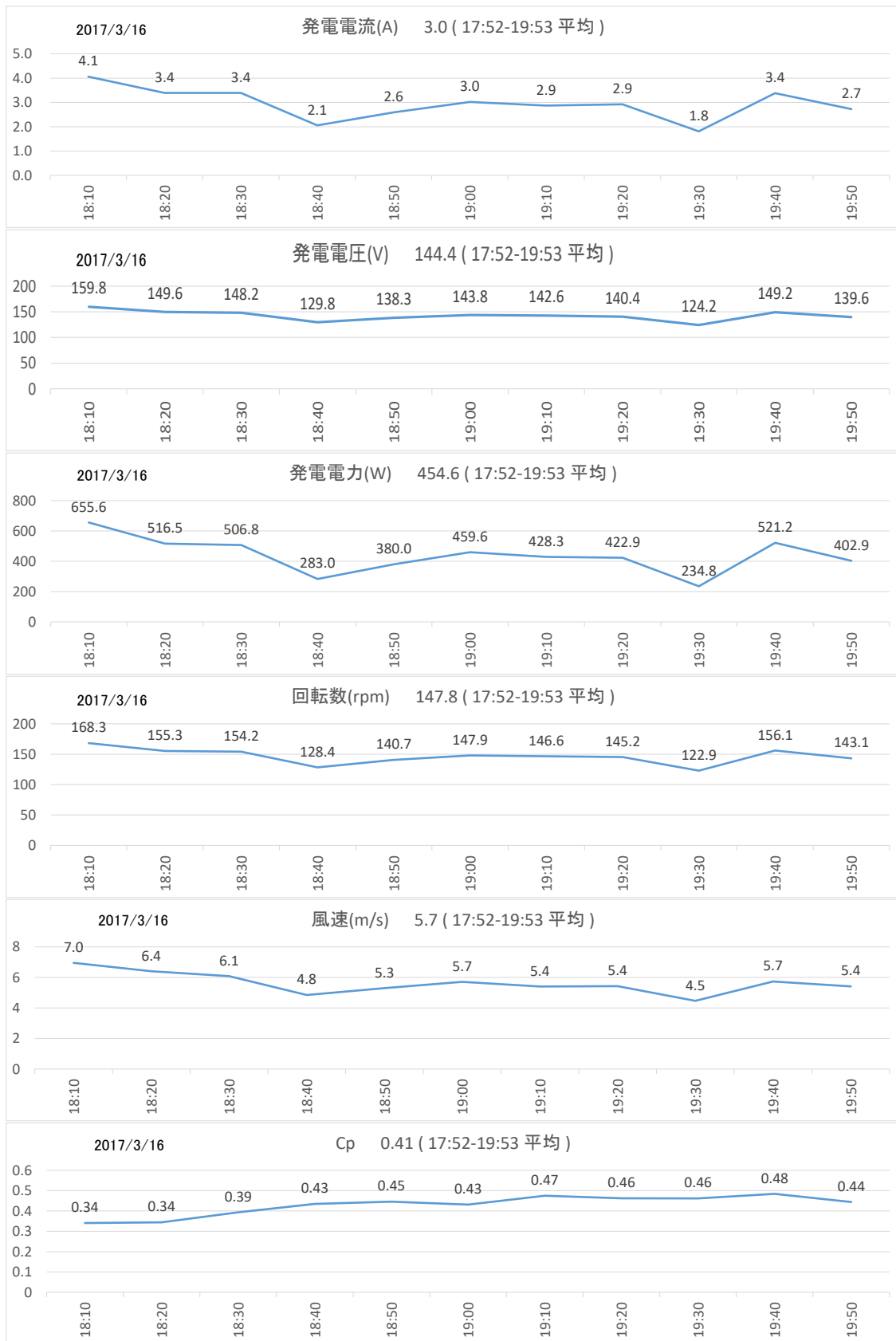


図 7 B 機 (5kW 機)、2017 年 3 月 16 日の実験結果、10 分間平均値
 発電電流 (A), 発電電圧 (V), 発電電力 (W), 回転数 (rpm), 風速 (m/min), 出力係数 Cp

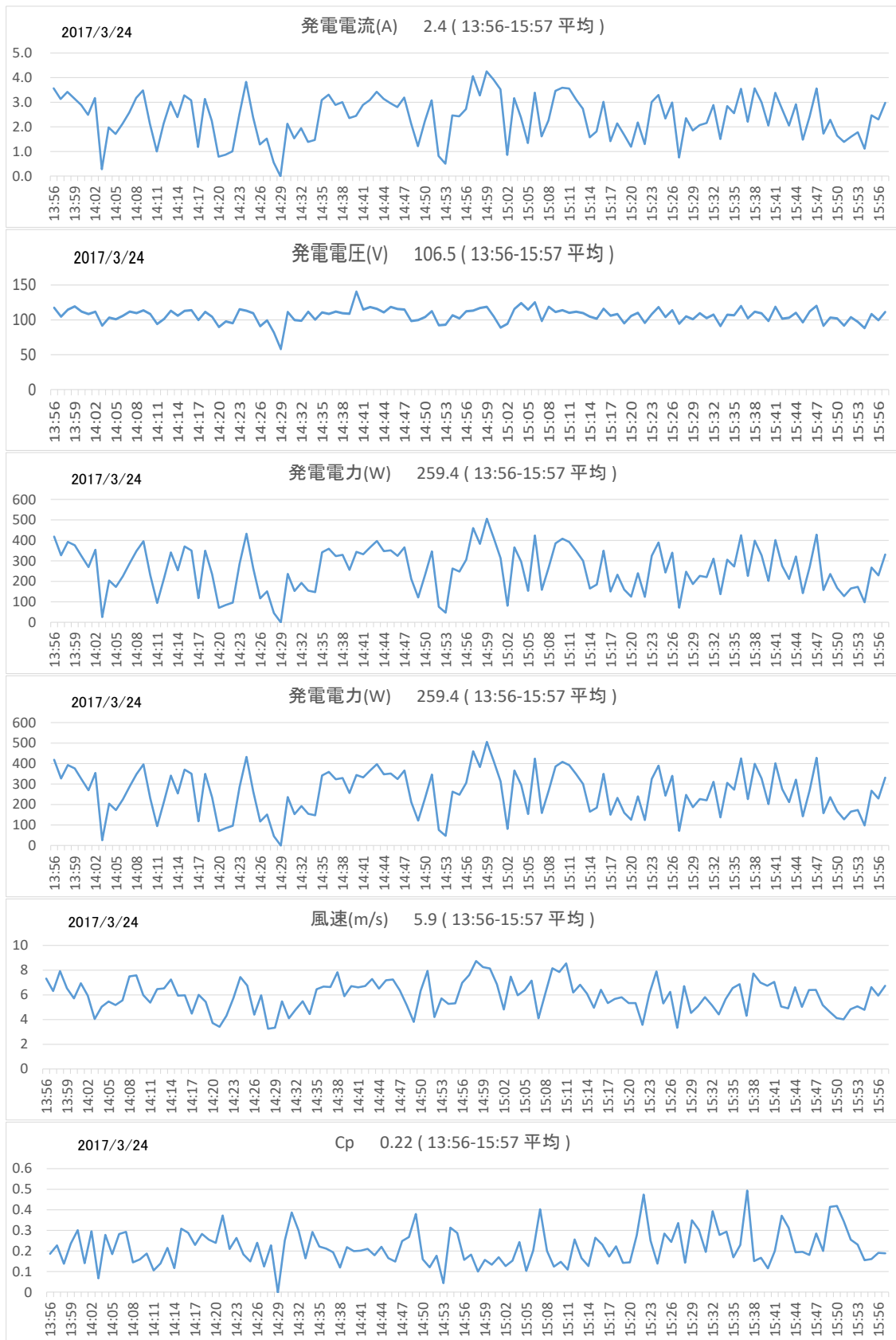


図 8 C 機 (3kW 機)、2017 年 3 月 24 日の実験結果、1 分間平均値
 発電電流 (A), 発電電圧 (V), 発電電力 (W), 回転数 (rpm), 風速 (m/min), 出力係数 Cp

3 台の小型水平軸風車を用いた風車性能改善に関する比較研究

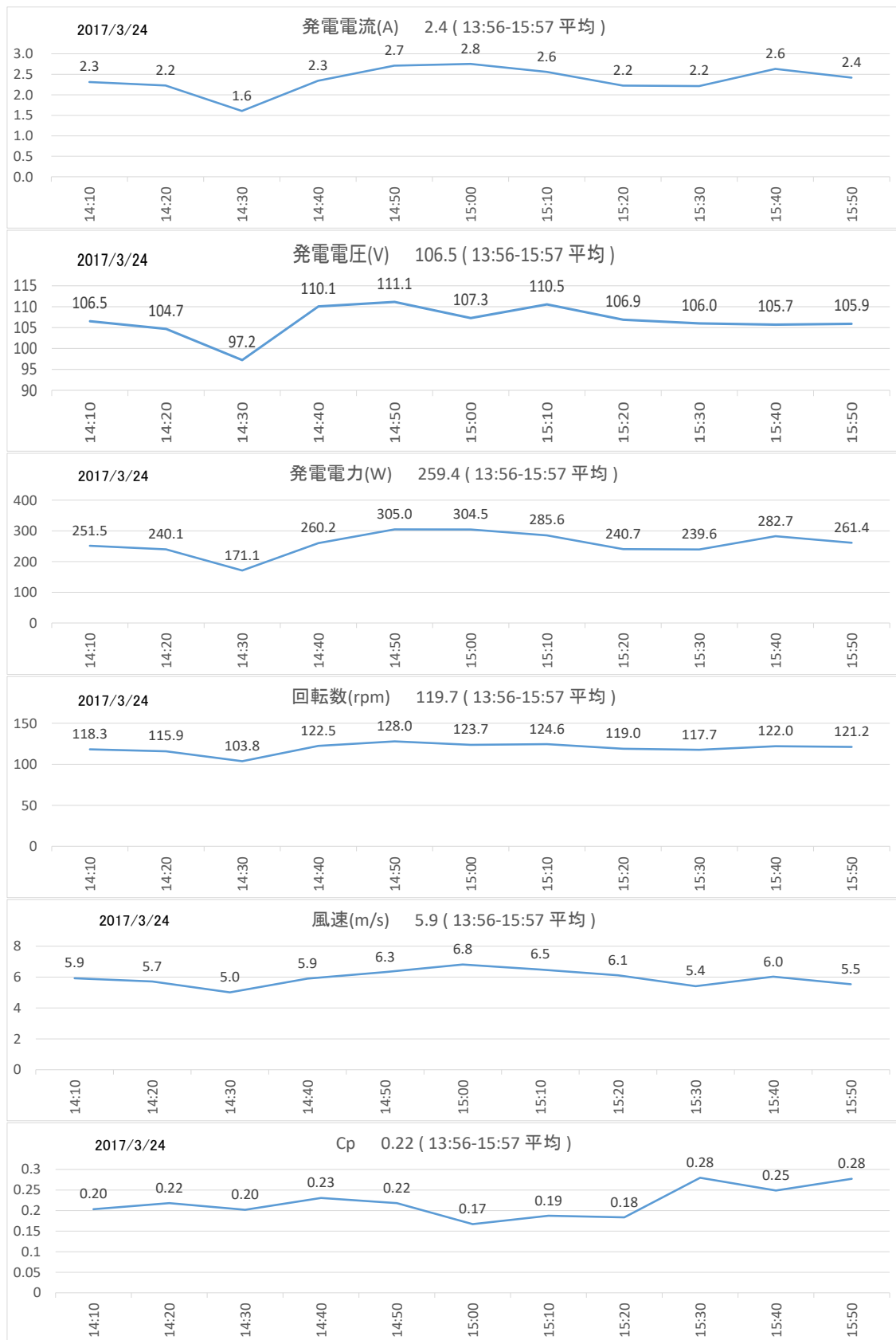


図9 C機(3kW機)、2017年3月24日の実験結果、10分間平均値
 発電電流(A), 発電電圧(V), 発電電力(W), 回転数(rpm), 風速(m/min), 出力係数Cp

3.2. 連続運転結果とその考察

図 10 には、2018 年 8 月 24 日から 2019 年までの愛知県知多半島美浜町の高台にある最大出力 4.5kW 風車の約半年間の風車連続運転結果を示す。上から 1 時間平均風速、1 時間平均発電出力、1 時間平均出力係数を示す。表 1 には、各月の 1 時間平均風速 (m/hour)、1 時間平均発電出力 (ワット/hour)、1 時間平均出力係数を示す。表 1 より、平均風速は、8 月 1.66m/hour、9 月 1.85m/hour、10 月 1.85m/hour、11 月 1.78m/hour、12 月少し風が強くなり 2.86m/hour、1 月 2.98m/hour、2 月 2.62m/hour になった。1 時間平均発電出力は、8 月 11.9 ワット/hour、9 月 15.2 ワット/hour、10 月 7.12 ワット/hour、11 月 24.3 ワット/hour、12 月 33.4 ワット/hour、1 月 41.2 ワット/hour、2 月 53.9 ワット/hour になった。出力係数は 8 月 0.05 から 2 月 0.13 で大変悪い結果になった。発電が伸びない理由は、平均風速が弱すぎることにつきる。風車設置場所は、海に見える高台であり、景観は良いが、北西風が連続的に吹き込まない、穏やかな場所であった。風力発電の適地ではなかったという結果である。風の吹き方として、台風来襲時には、1 時間平均風速で 13m/hour～14m/hour と強い風が吹くが、この風にはおそらく 20m/hour 以上の強風が

多数含まれており、風車の最大回転数が 350rpm を超えて、自動停止ブレーキが作動し、風車回転停止になっていると考えられる。例えば、9 月 30 日から 10 月 27 日の間は、風車は発電停止している。これは、9 月 30 日台風が接近し、風車が停止し、その後ある程度の強さの風が吹きつくと、自動運転解除が再度停止状態になり、これが繰り返されて、長期間運転停止が続く結果になっていると推定される。すなわち停止時間が長すぎる。これは運転方法改善の必要性を示している。以上簡単な考察であるが、適地選定の重要性、運転制御の高度化が期待される。

表 1 2018 年 8 月から 2019 年 2 月までの月平均風速 (m/hour)、発電量 (W)、出力係数 (効率)

日時	風速(m/s)	発電量(W)	Cp
2018 年 8 月	1.66	11.92	0.05
2018 年 9 月	1.85	15.28	0.05
2018 年 10 月	1.85	7.12	0.02
2018 年 11 月	1.78	24.31	0.07
2018 年 12 月	2.86	33.47	0.07
2019 年 1 月	2.98	41.26	0.10
2019 年 2 月	2.62	53.89	0.13

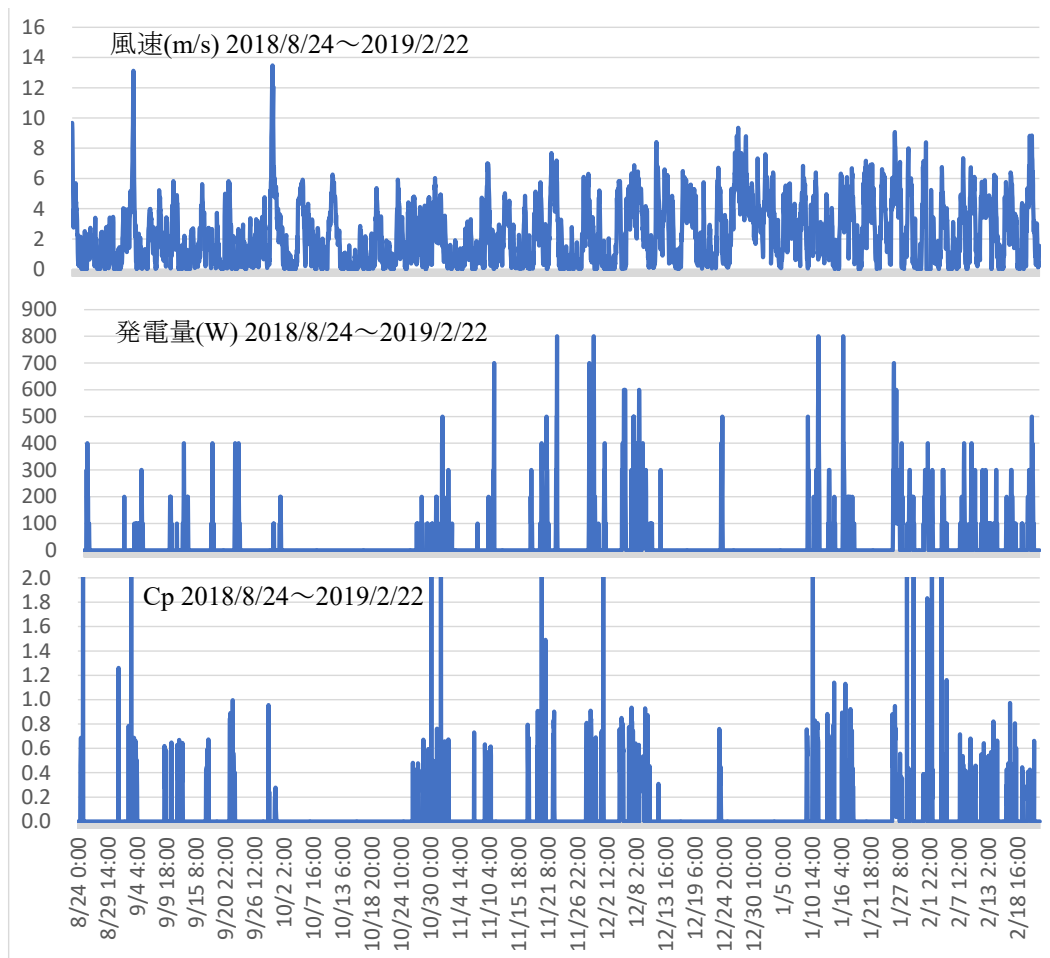


図 10 連続運転結果 (2018 年 8 月 24 日～2019 年 2 月 22 日) 風速、発電量、出力係数 (効率)